

In the name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful



Copyright disclaimer

"La faculté" is a website that collects medical documents written by Algerian assistant professors, professors or any other health practicals and teachers from the same field.

Some articles are subject to the author's copyrights.

Our team does not own copyrights for some content we publish.

"La faculté" team tries to get a permission to publish any content; however , we are not able to contact all authors.

If you are the author or copyrights owner of any kind of content on our website, please contact us on: facadm16@gmail.com to settle the situation.

All users must know that "La faculté" team cannot be responsible anyway of any violation of the authors' copyrights.

Any lucrative use without permission of the copyrights' owner may expose the user to legal follow-up.



Module de Biophysique

Faculté de Médecine

SITE de ZIANIA

UNIVERSITE ALGER 1

e-mail : biophysique_facmed-alger@hotmail.com

Notions de Mécanique Cardiaque

- biomécanique de la fonction cardiaque -

Professeur M. CHEREF

2^{ème} année de médecine

Notions à retenir

« Physiology can no more be understood without biomechanics than an airplane can without aerodynamics »

Pr. Y. C. FUNG

« *Biomechanics, Mechanical Properties of Living Tissues* » Spring-Verlag - 1993

Introduction

caractérisation biomécanique de la pompe cardiaque

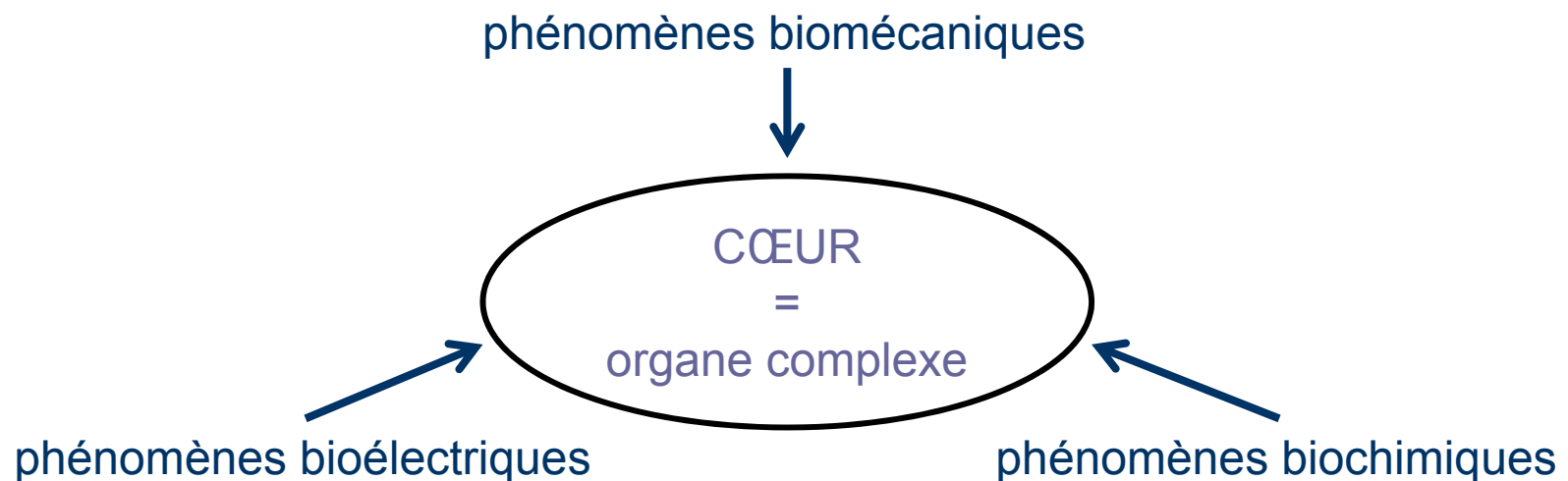
Biomécanique de la pompe cardiaque

Introduction (1)

➤ FONCTION DU CŒUR

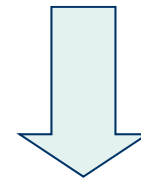
- pomper sans arrêt le sang
- débit entre 5 et 35 l/mn (sous une charge constante et de l'ordre de 100 mm Hg)

GRANDE FIABILITE ET LONGEVITE



Introduction (2)

TECHNIQUES ATRAUMATIQUES
(échographie ultrasonore - IRM)



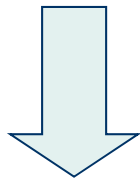
quantifier la cinématique de la structure
- cycle cardiaque -

paroi du myocarde
(épaisseurs et diamètres)

volume ventriculaire

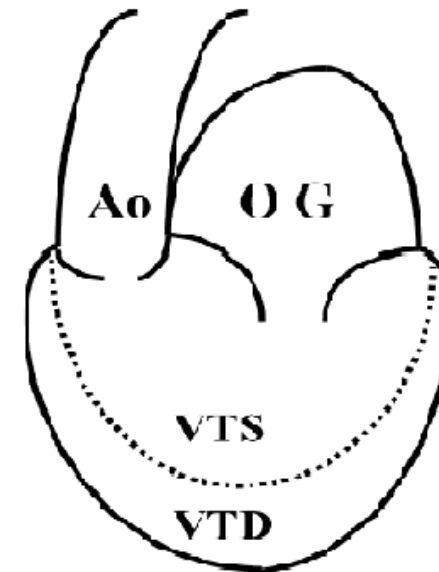
Introduction (3)

Volume télé-diastolique et Volume télé-systolique (VTD et VTS)



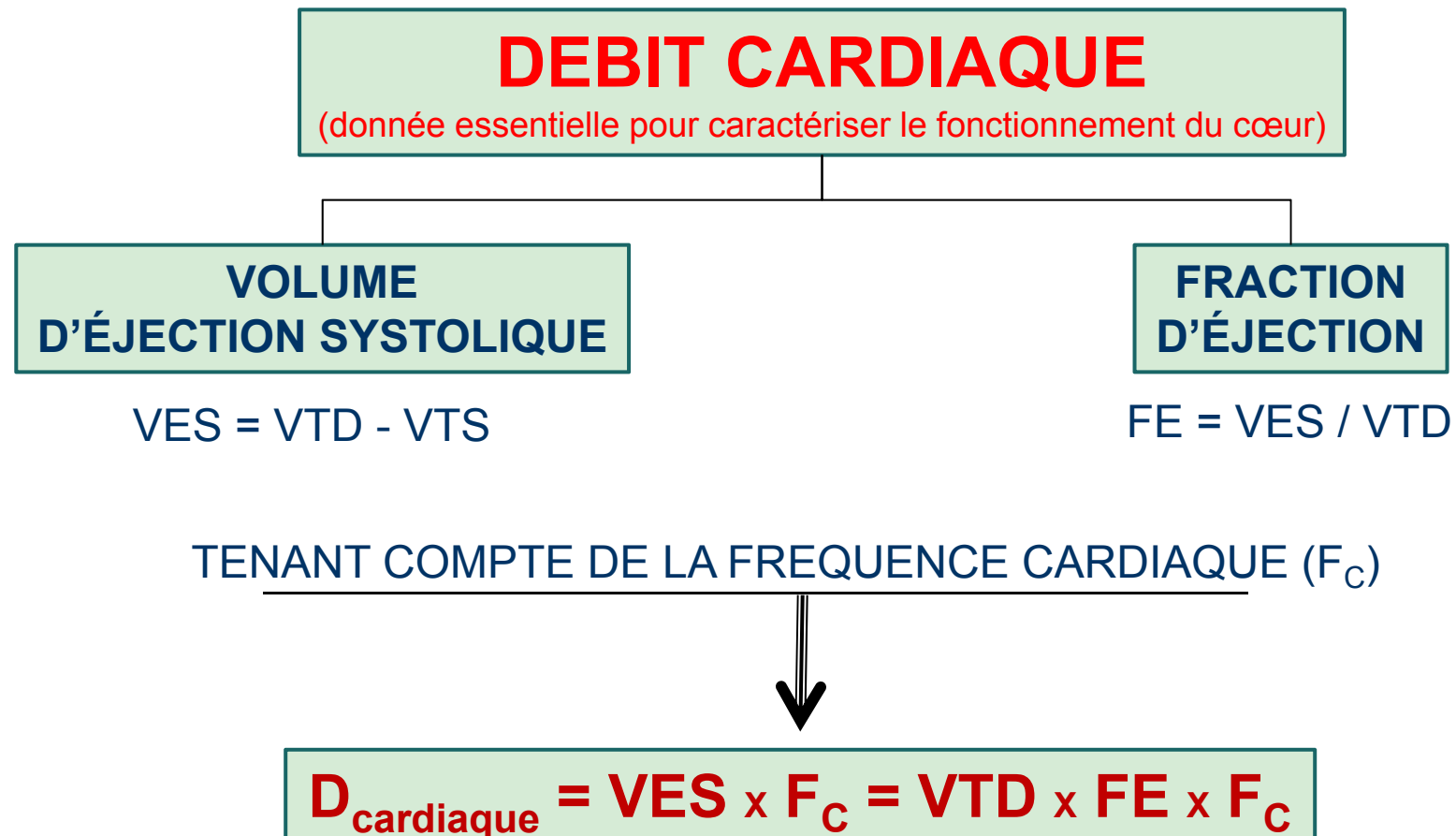
**Ventricule
à son volume minimal
(VTS)**

**Ventricule
rempli au maximum
(VTD)**

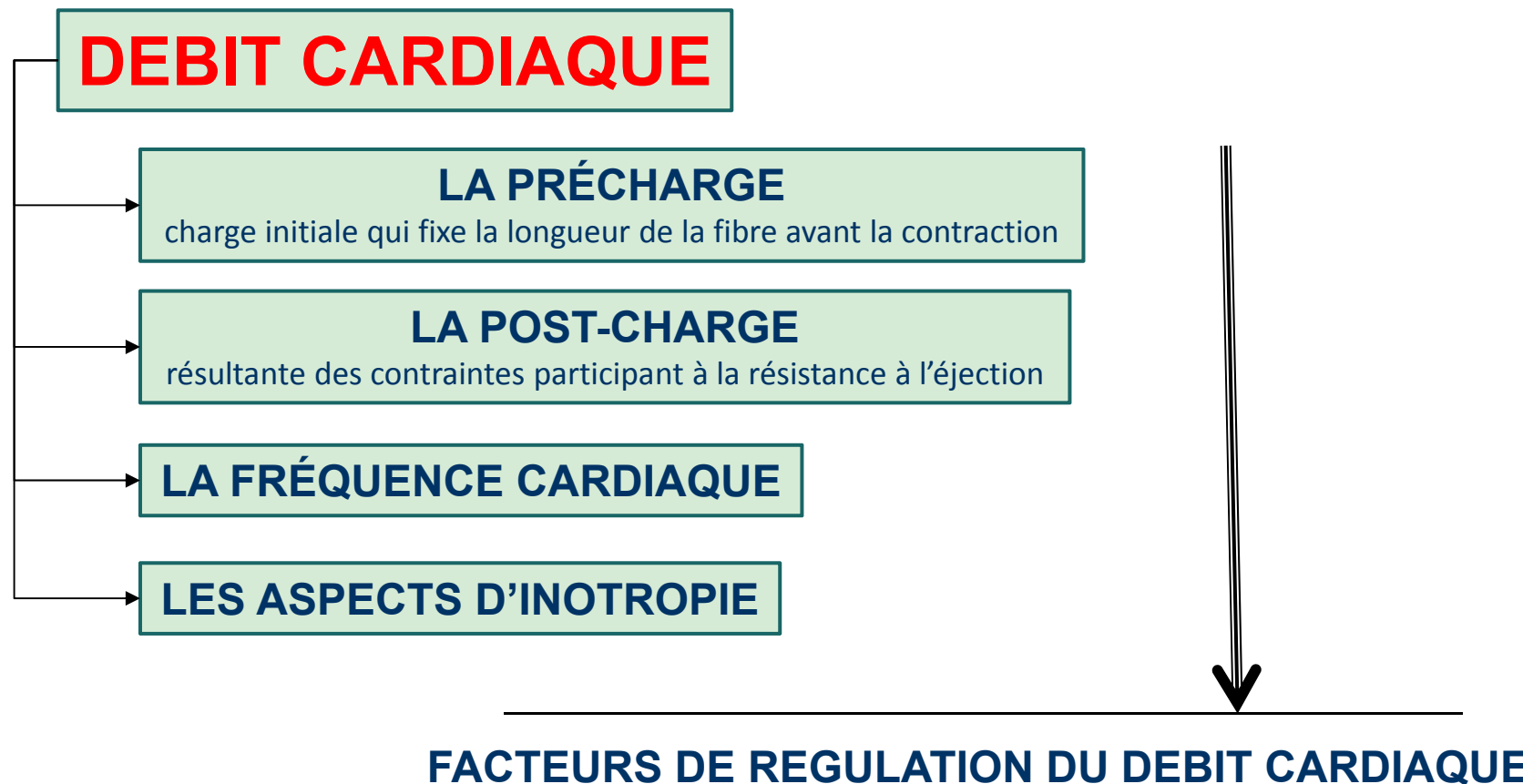


MODIFICATION DU VOLUME DE LA CAVITE VENTRICULAIRE

Introduction (3) : Débit cardiaque et fraction d'éjection



Introduction (4) : Facteurs de régulation du Débit cardiaque

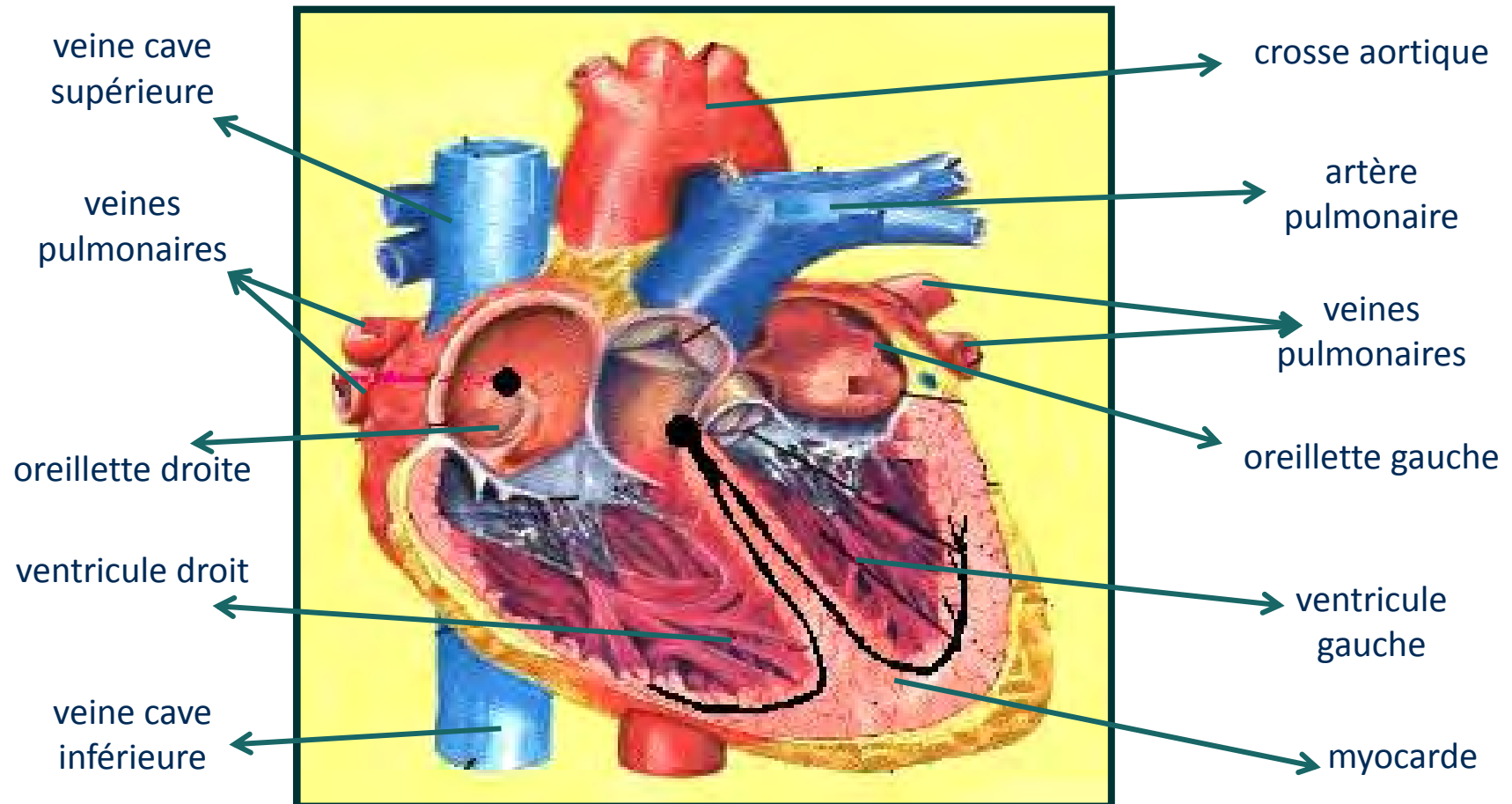


Eléments d'Anatomie et d'Histologie

Biomécanique de la pompe cardiaque



Anatomie du cœur (1) : approche globale (1)



Anatomie du cœur (2) : approche globale (2)

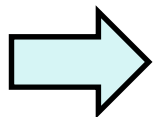
➤ **Le cœur : un muscle**

- une structure composite (constituées de fibres musculaires actives)
- 4 parties creuses : deux oreillettes et deux ventricules (D et G)

existence de valves à architectures complexes

➤ **Une double pompe**

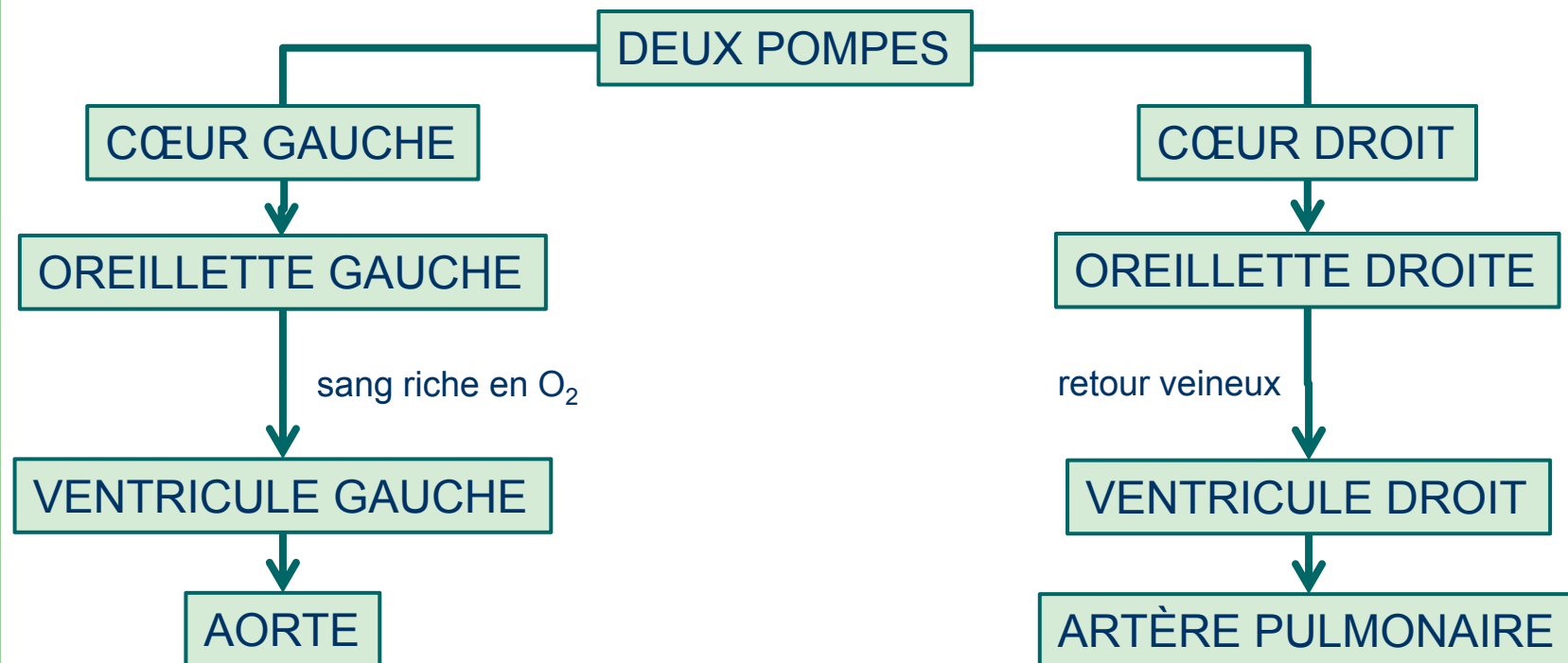
- partie droite :
 - des veines caves et des veines coronaires vers l'oreillette droite
 - du ventricule droit vers l'artère pulmonaire
- partie gauche :
 - des veines pulmonaires vers l'oreillette gauche
 - du ventricule gauche vers la crosse aortique



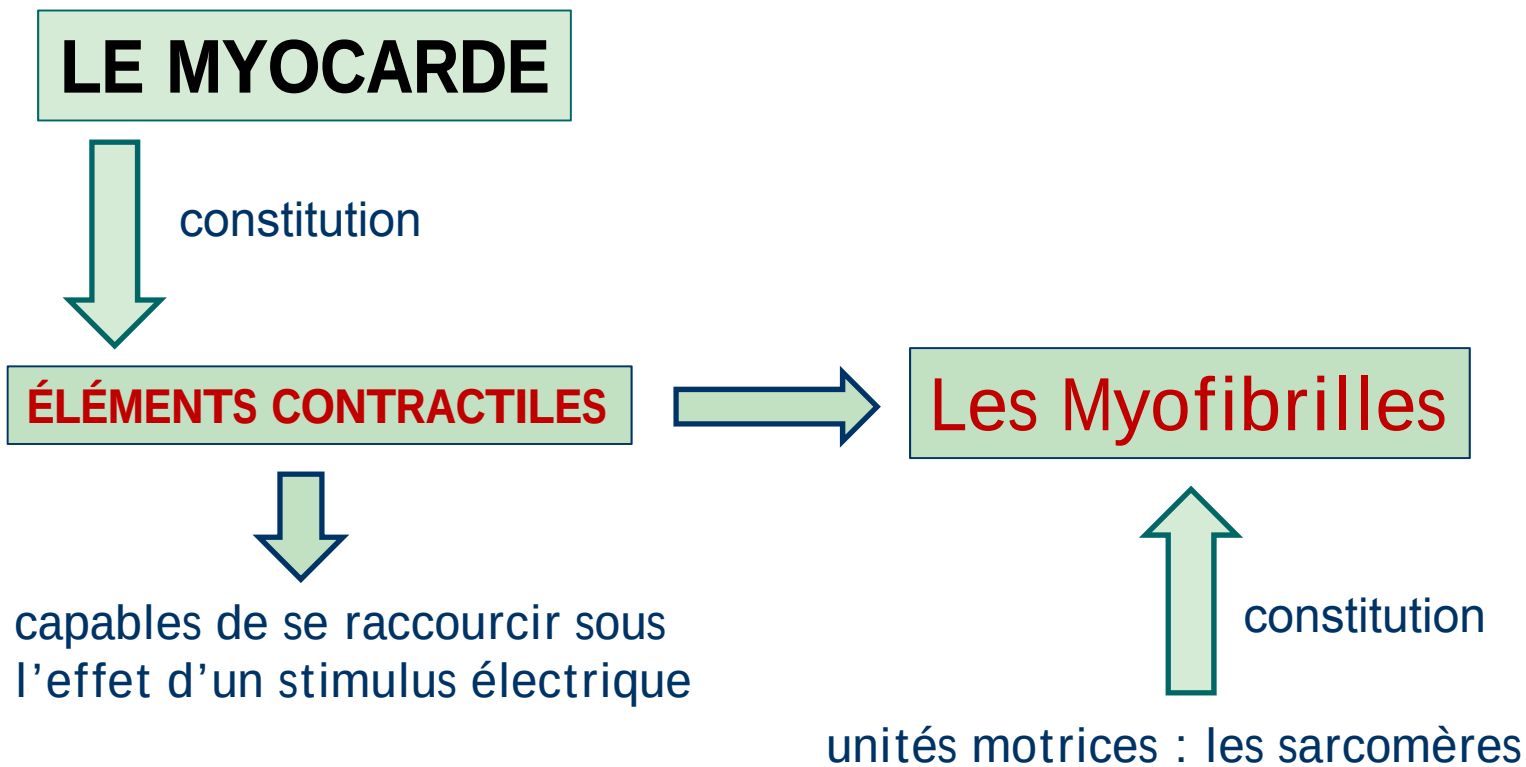
INSEREE DANS UN SQUELETTE FIBREUX (constituant un isolant électrique)

Anatomie du cœur (3) : schématisation

LA STRUCTURE CARDIAQUE



Éléments d'histologie (1) : la myofibrille



Éléments d'histologie (2) : la myofibrille

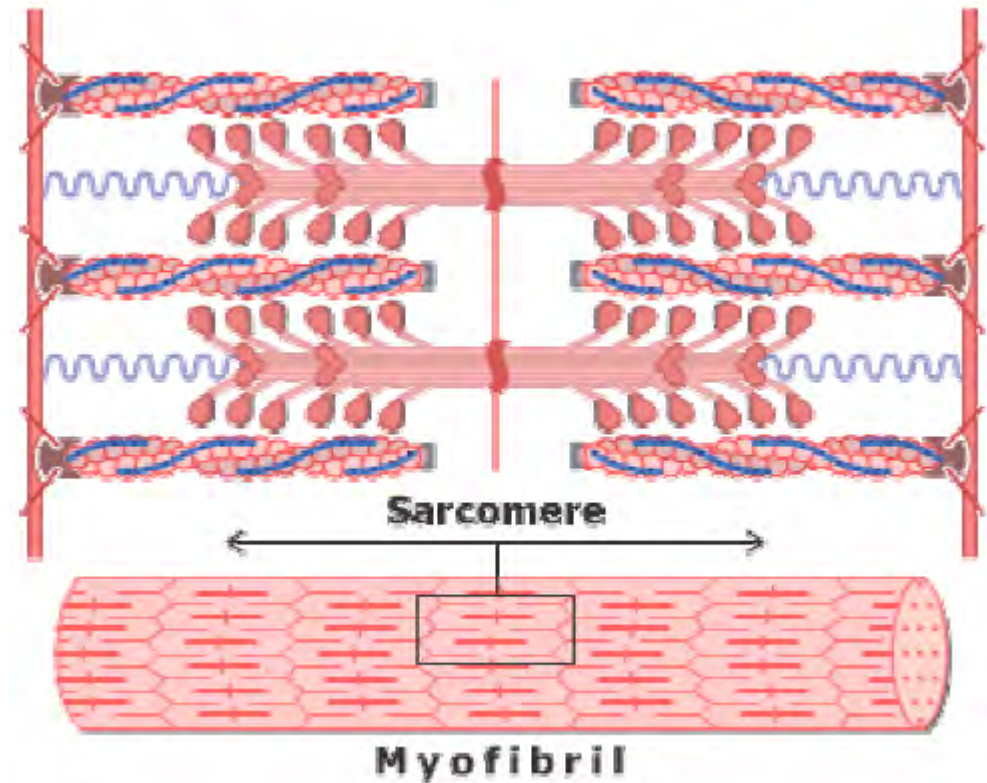
➤ Constitution

- filaments d'actine
- filaments de myosine

EFFETS CONTRACTILES



**ELONGATION
DU SARCOMERE**



Application biomécanique élémentaire

modèle physique simple de la fibre myocardique

analyse biomécanique de la fonction cardiaque -1

Le myocarde : contractilité et élasticité (1)

MODELE PHYSIQUE SIMPLE

→ ELEMENT CONTRACTILE E_c

→ ELEMENT ELASTIQUE PLACE EN PARALLELE E_p

→ ELEMENT ELASTIQUE PLACE EN SERIE E_s



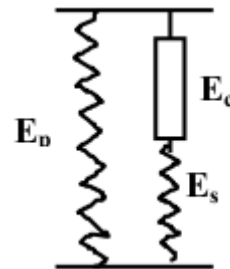
schématisation de l'élément contractile selon trois éléments associés
déformation (allongement) ou mouvement de raccourcissement actif



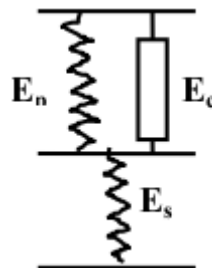
Le myocarde : contractilité et élasticité (2)

EXEMPLES : deux assemblages possibles

↓
Élément contractile + élément élastique placé en série (M)



↓
Élément contractile + élément élastique placé en parallèle (V)



La fibre myocardique enrobée de fibres de collagène protégeant celle-ci d'une extension excessive et irréversible

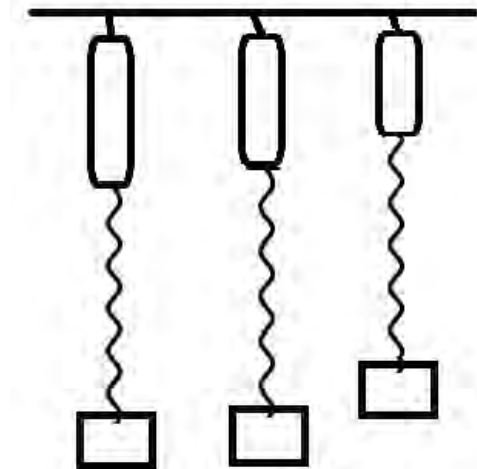
Le myocarde : contractilité et élasticité (3)

PHASES DE CONTRACTION D'UNE FIBRE ISOLEE

- phase 1 : Contraction isométrique (longueur constante)
mise sous tension de la fibre sans variation de longueur (sans production de travail)
- phase 2 : Contraction isotonique (tension constante)
accompagnée d'un raccourcissement de la fibre (production éventuelle de travail)
- phase 3 : Relaxation
la fibre reprend sa longueur de repos

Remarque :

il est possible de considérer les trois phases de contraction d'une fibre isolée de cette sorte (à partir d'une position dite de repos)



Le myocarde : contractilité et élasticité (4)

CONTRACTION DE LA FIBRE MYOCARDIQUE

caractéristiques adaptatives de la contraction myocardique
+
adaptation du débit cardiaque à l'effort

facteurs régulant le débit cardiaque (rappel)

- La pré-charge
- La post-charge
- La fréquence cardiaque
- L'inotropie



Le myocarde : contractilité et élasticité (5)

NOTIONS DE PRE-CHARGE ET DE POST-CHARGE

- Pré-charge :

du fait de sa composante élastique, une fibre peut être, initialement étirée au-delà de sa longueur au repos. La pré-charge exprimerait la force avec laquelle s'effectue l'étirement de cette fibre.

(Interprétée autrement, il est possible d'assimiler la pré-charge à la charge initiale qui fixe la longueur de la fibre avant contraction)

- Post-charge :

lorsque la fibre se contracte, il s'agit de la force contre laquelle cette fibre travaille (exemple simple de la fibre fixée à ses deux extrémités dont l'une est fixe et l'autre reliée par une poulie à un poids).

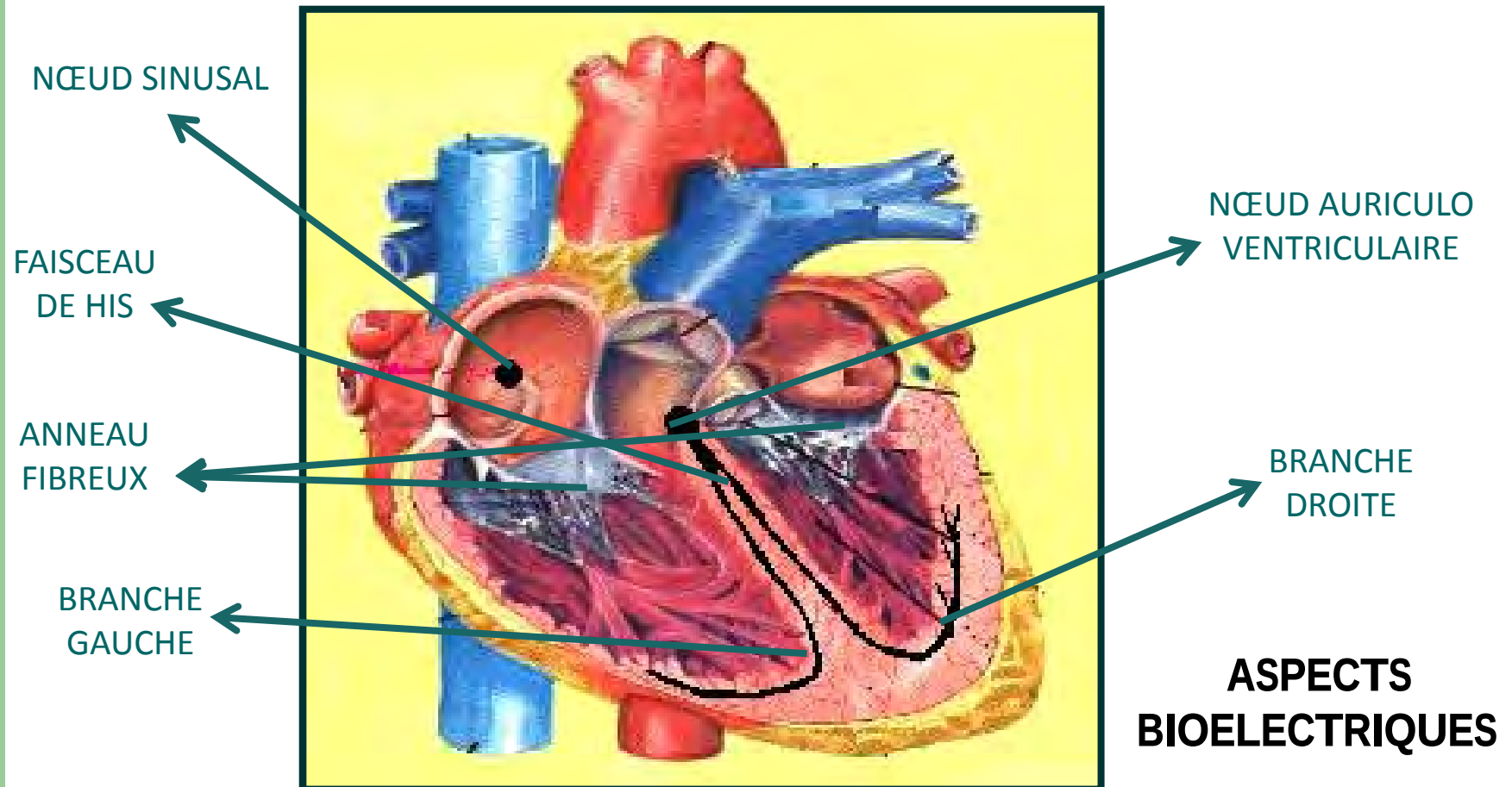
Vis-à-vis de la pompe cardiaque, il s'agit de l'ensemble des forces qui résistent à l'éjection ventriculaire.

Physiologie de la pompe cardiaque

corrélation avec l'activité électrique cardiaque

analyse biomécanique de la fonction cardiaque -2

Eléments d'histologie (3) : particularités



Éléments d'histologie (4) : organisation

➤ TISSU NODAL

- Nœud sinusal
- Nœud auriculoventriculaire
- Tronc et branches du faisceau de His
- Réseau de Purkinje

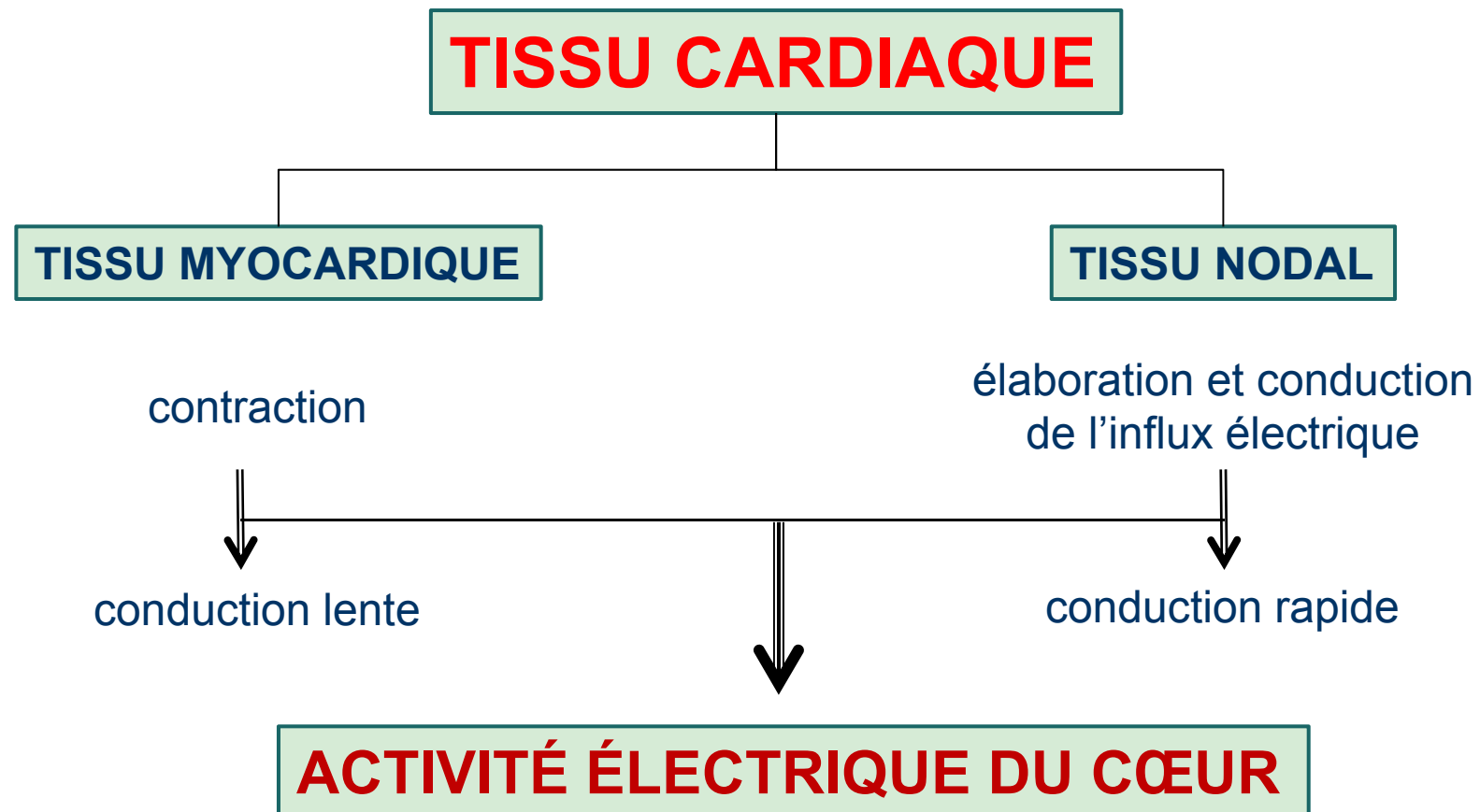
Elaboration et conduction de l'influx électrique

➤ TISSU MYOCARDIQUE

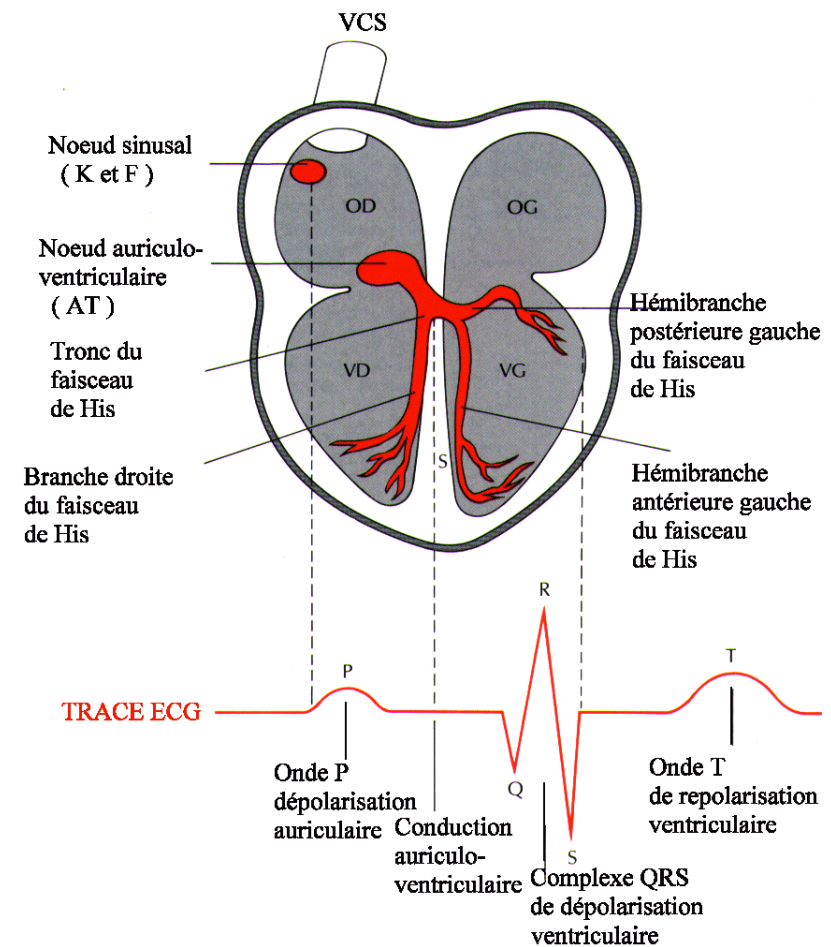
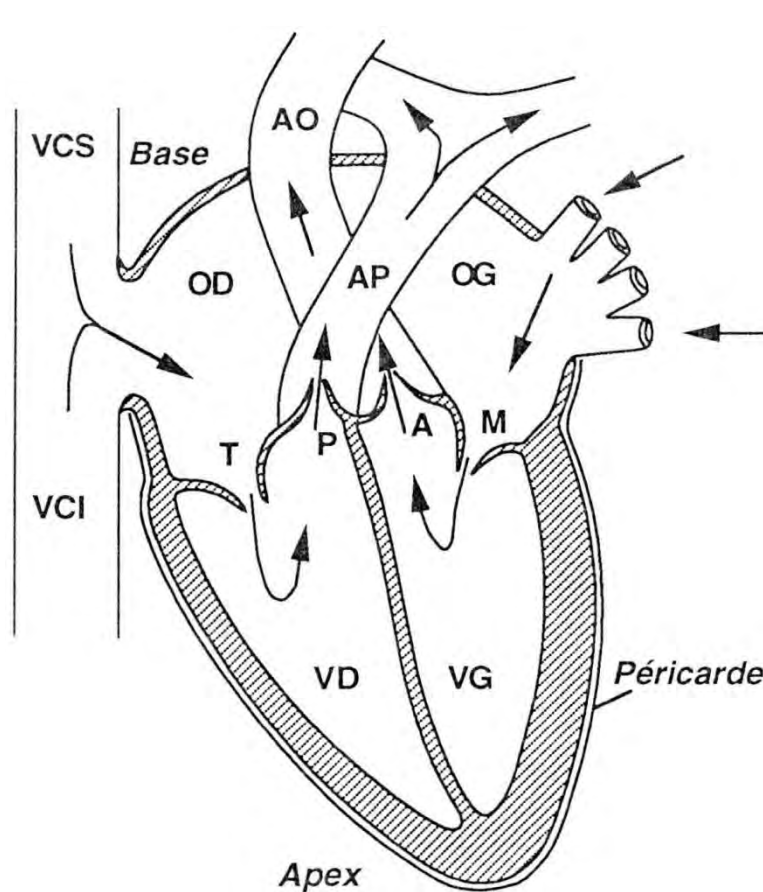
- Cellules musculaires striées myocardiques : les cardiomyocytes

Activité contractile spontanée et rythmique

Bioélectricité cardiaque : schématisation



Corrélation biomécanique - bioélectricité



Biomécanique du cycle cardiaque

propriétés biomécaniques du ventricule

analyse biomécanique de la fonction cardiaque -3

Travail cardiaque : pré-charge et post-charge

EXTENSION DES POST-CHARGE ET PRE-CHARGE AU VENTRICULE GAUCHE

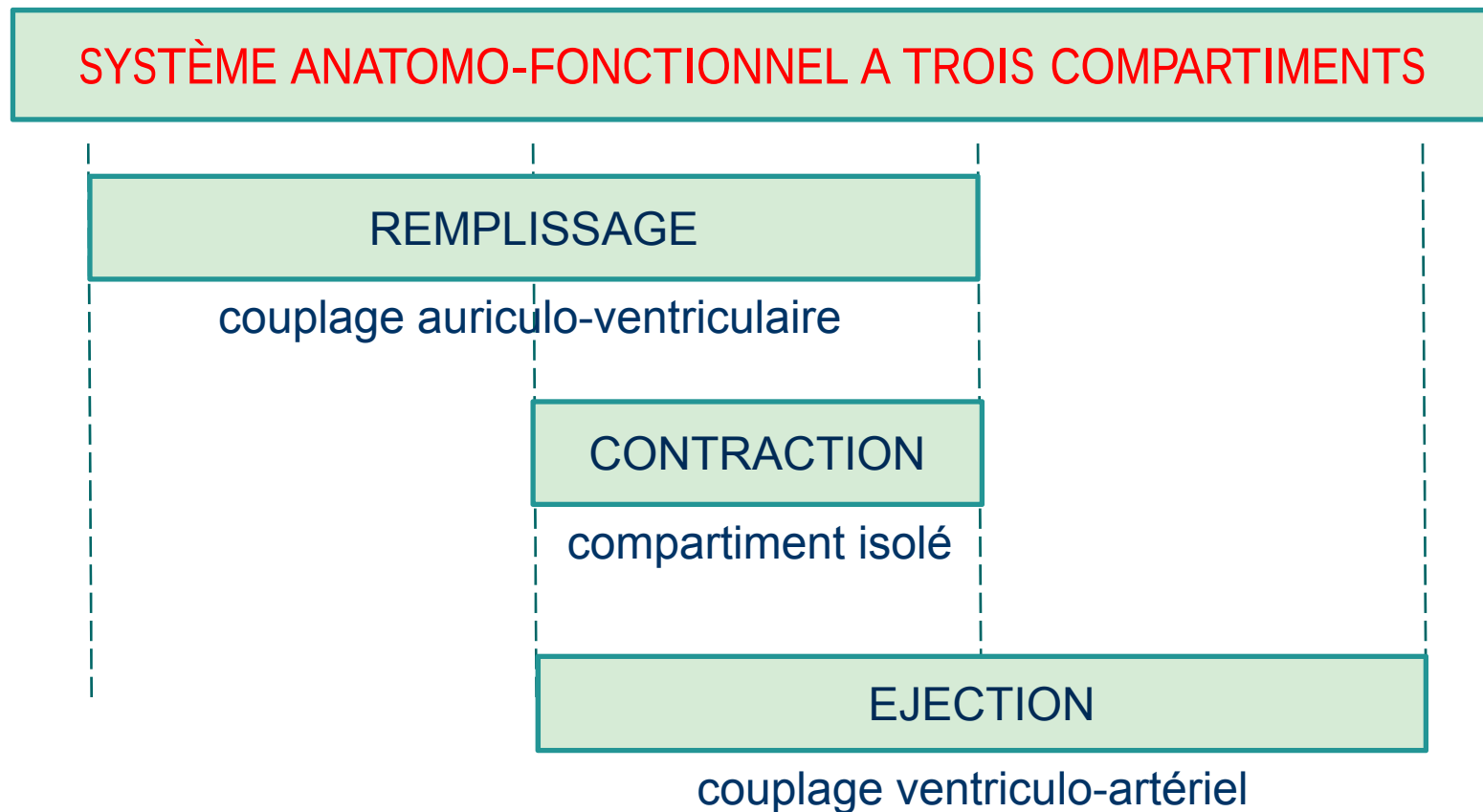
LA PRE-CHARGE

Au cours de la diastole, la pression sanguine provoque une distension du ventricule : il y a remplissage au delà de son volume de repos

LA POST-CHARGE

Au cours de la systole, l'éjection du sang doit se faire contre la pression aortique

Fonction cardiaque (1) : exemple de « l'écluse »



Fonction cardiaque (2) : courbe pression volume

DEUX GRANDEURS PHYSIQUES EN JEU DURANT LE CYCLE CARDIAQUE



LA PRESSION VENTRICULAIRE



LE VOLUME VENTRICULAIRE



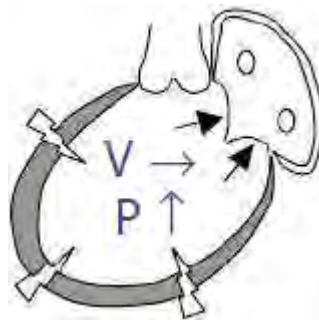
INTERDEPENDANCE DE CES DEUX GRANDEURS

Fonction cardiaque (3) : cycle cardiaque

LES 4 TEMPS DU CYCLE CARDIAQUE



remplissage
diastolique



contraction
isovolumétrique



éjection
systolique



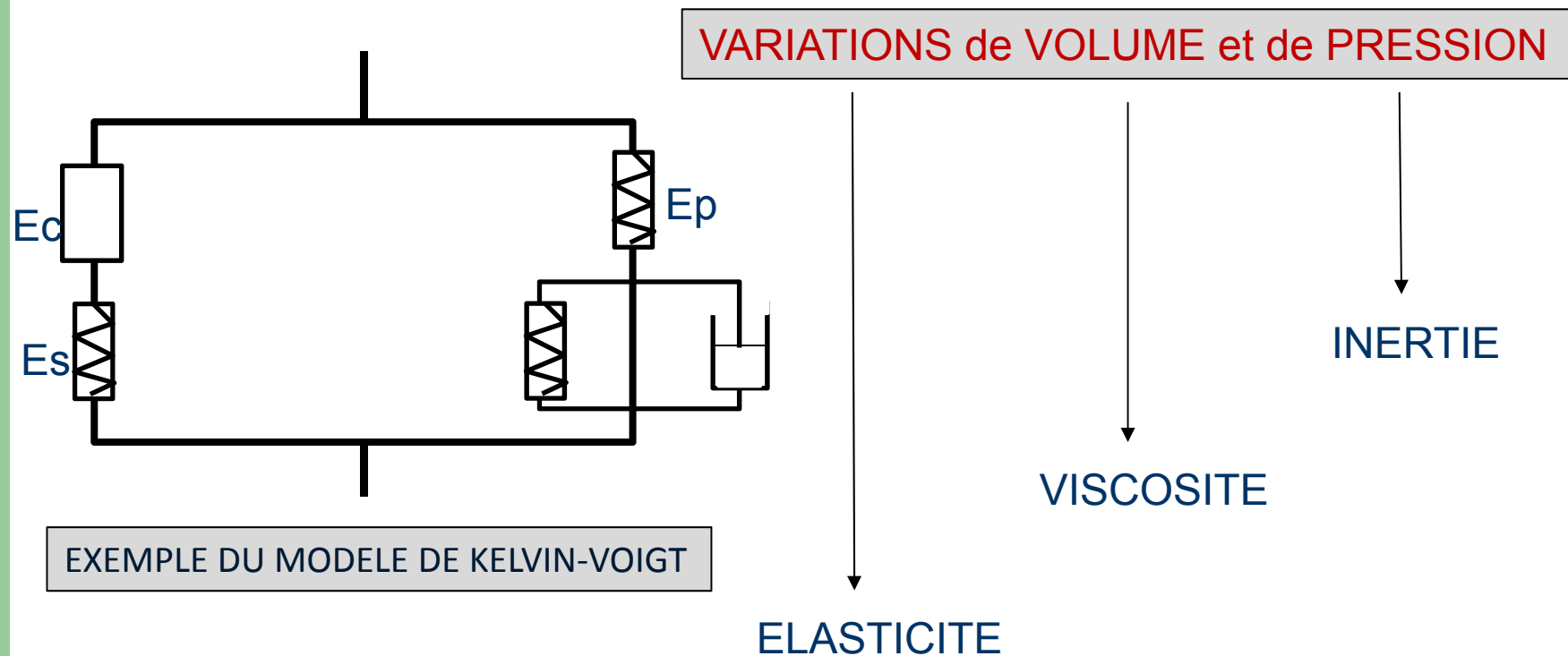
relaxation
isovolumique

Cycle cardiaque : courbe pression - volume

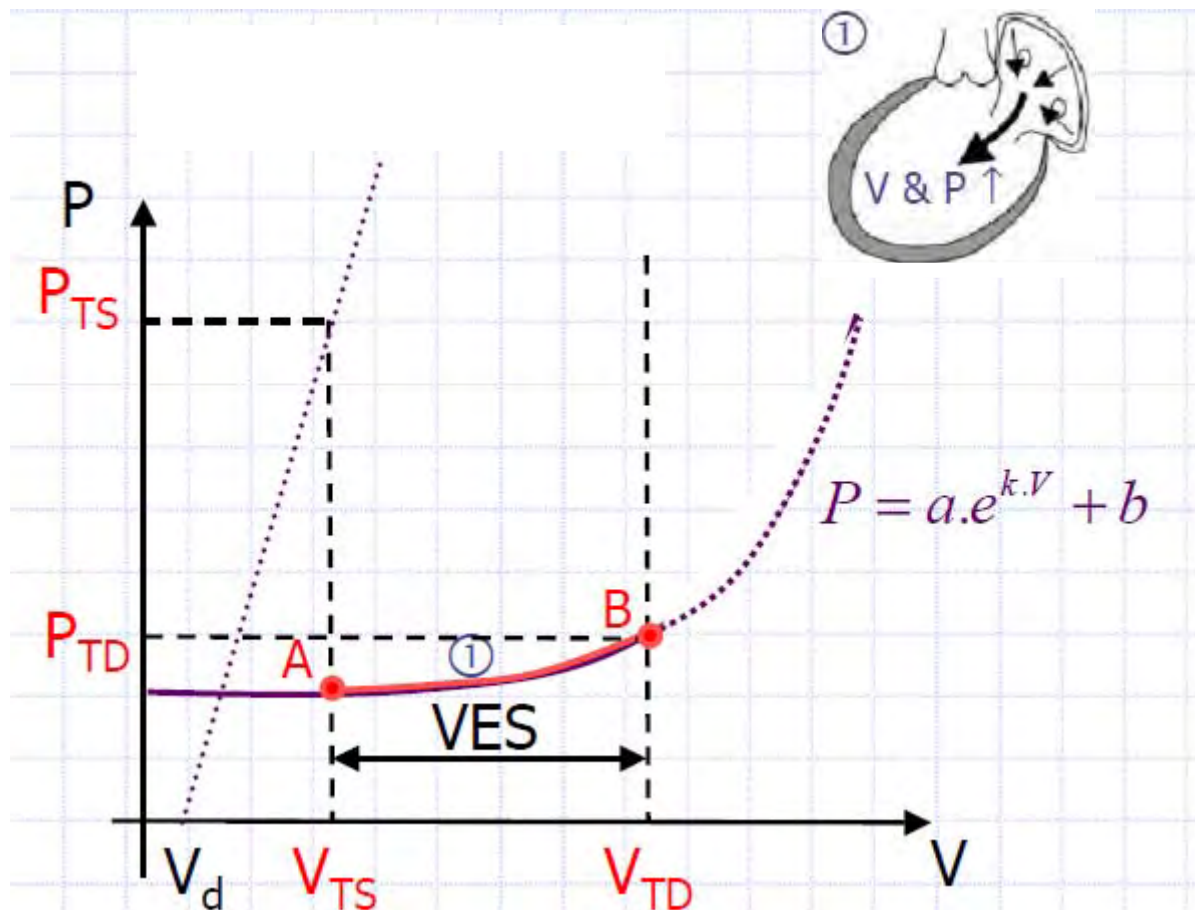
Réalité physique : prise en compte du caractère viscoélastique du matériau cardiaque

analyse biomécanique de la fonction cardiaque -5

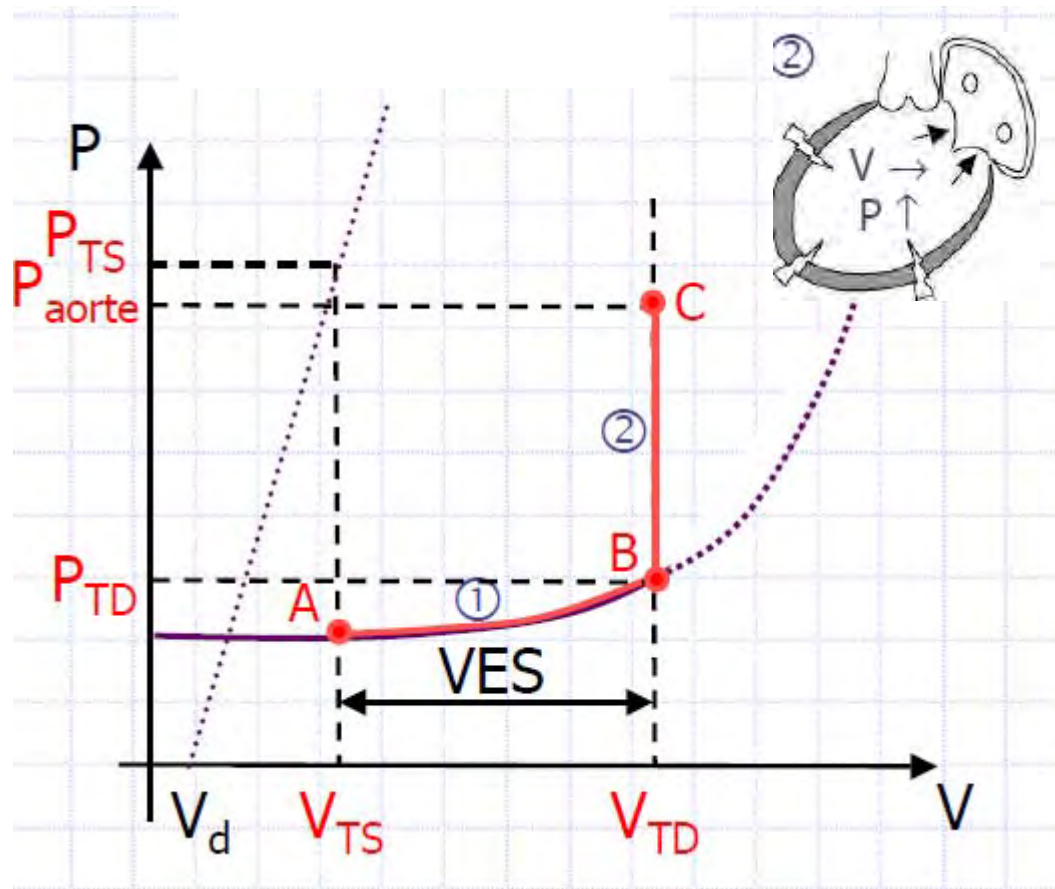
La pompe cardiaque : modélisation simple



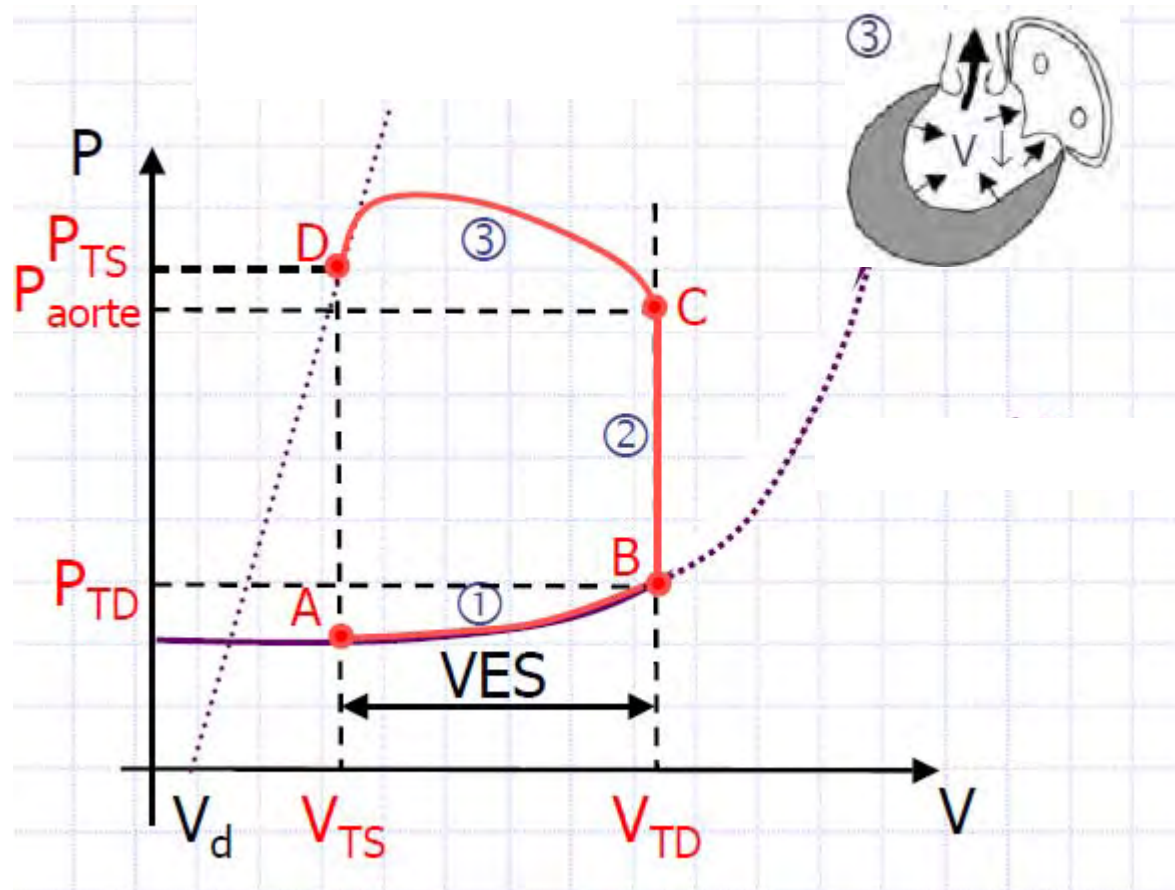
Cycle cardiaque (1) : remplissage diastolique



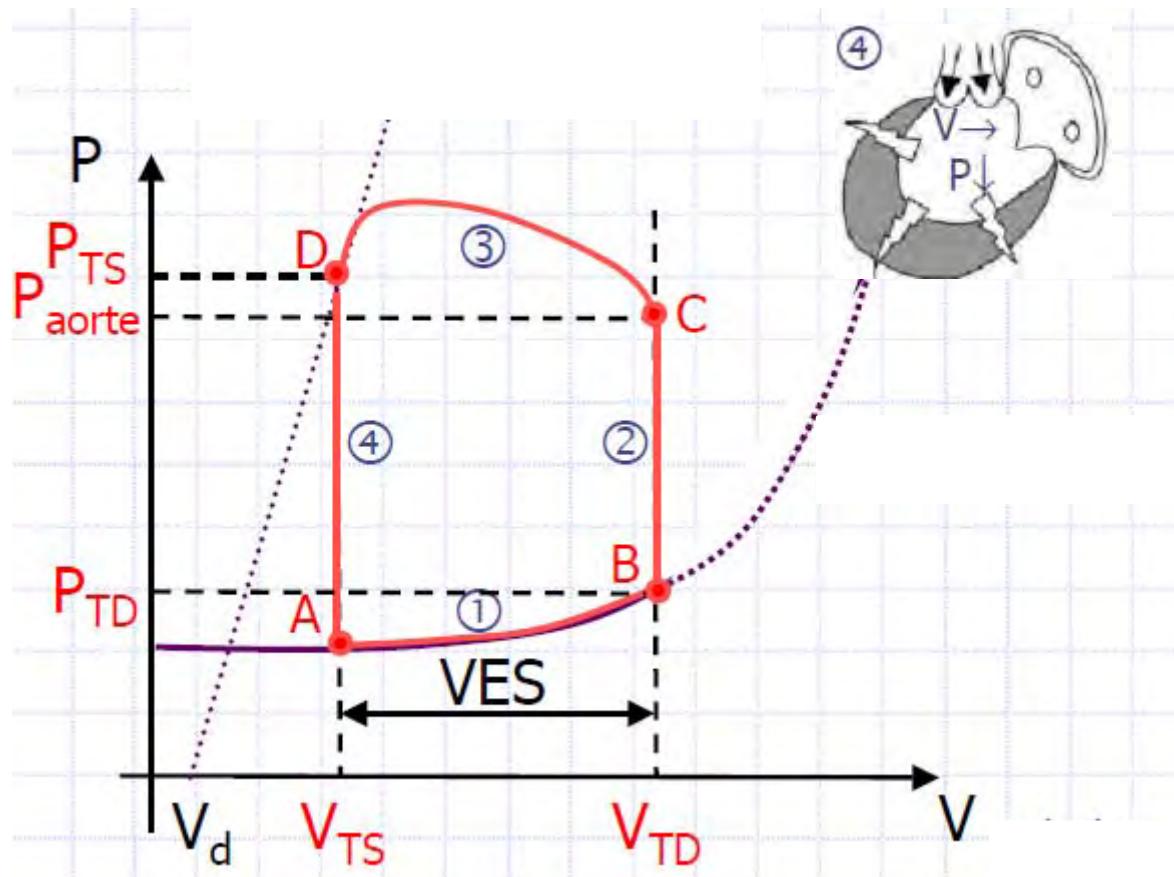
Cycle cardiaque (2) : contraction isovolumique



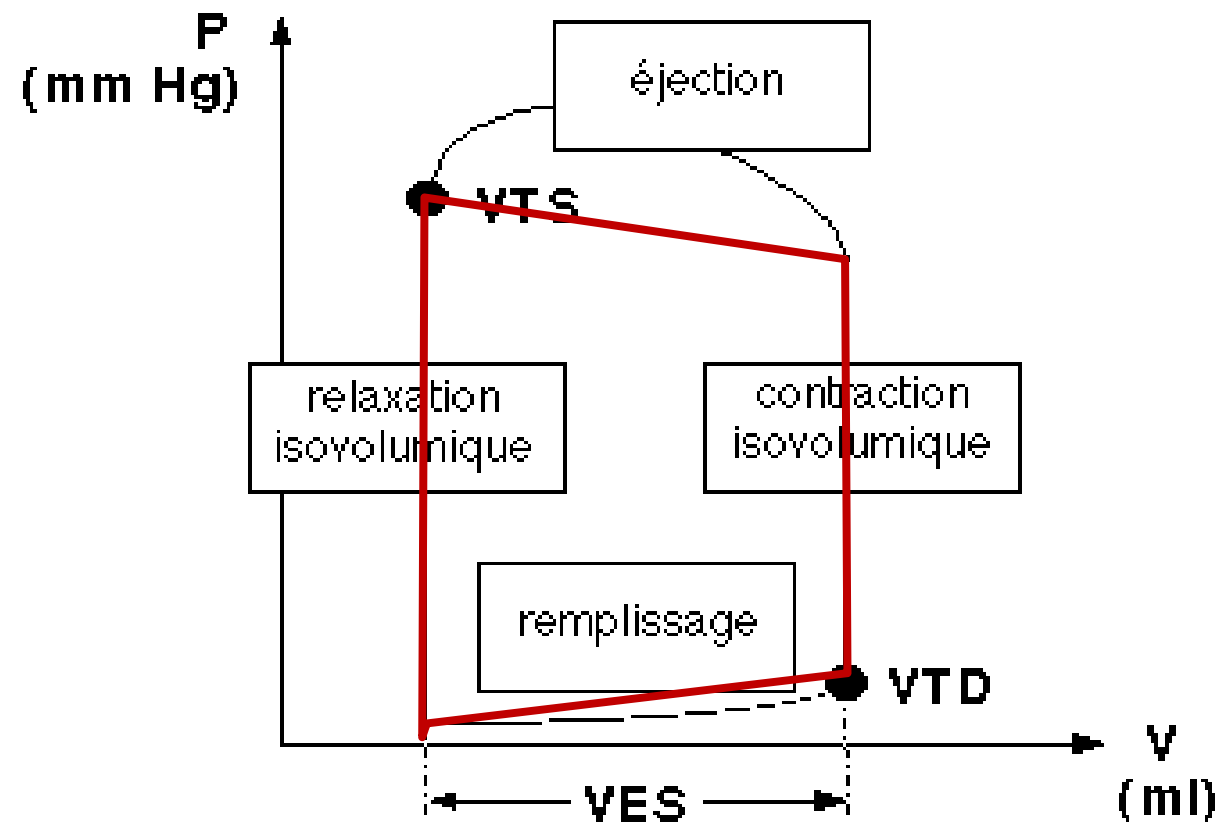
Cycle cardiaque (3) : éjection systolique



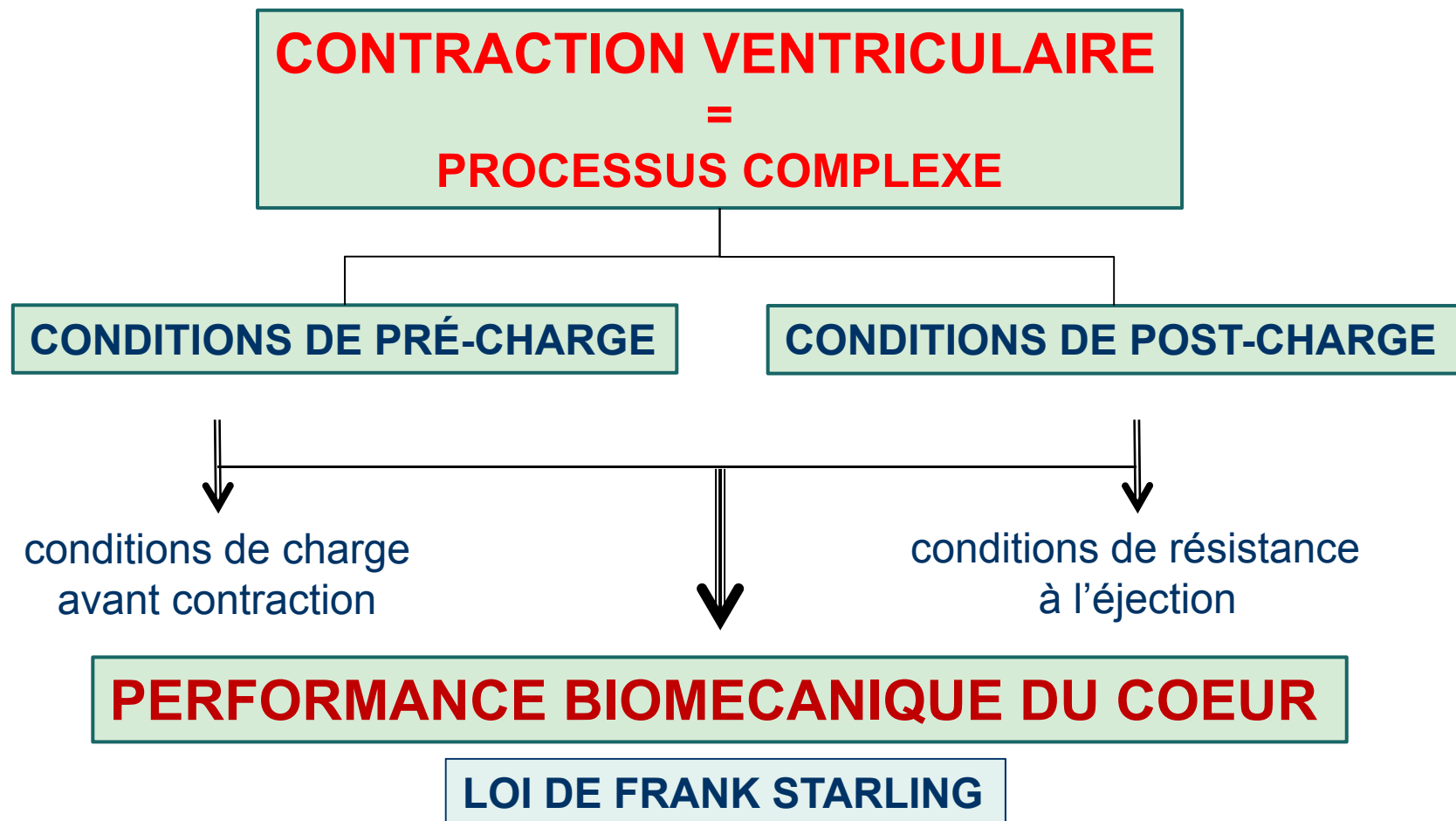
Cycle cardiaque (4) : relaxation isovolumique



Cycle cardiaque (5) : courbe pression volume



Performance cardiaque (1) : pré-charge et post-charge



Performance cardiaque (3) : loi de Frank-Starling (2)

Expression de la loi de Frank-Starling

« Plus la fibre est étirée, plus sa contractilité augmente »



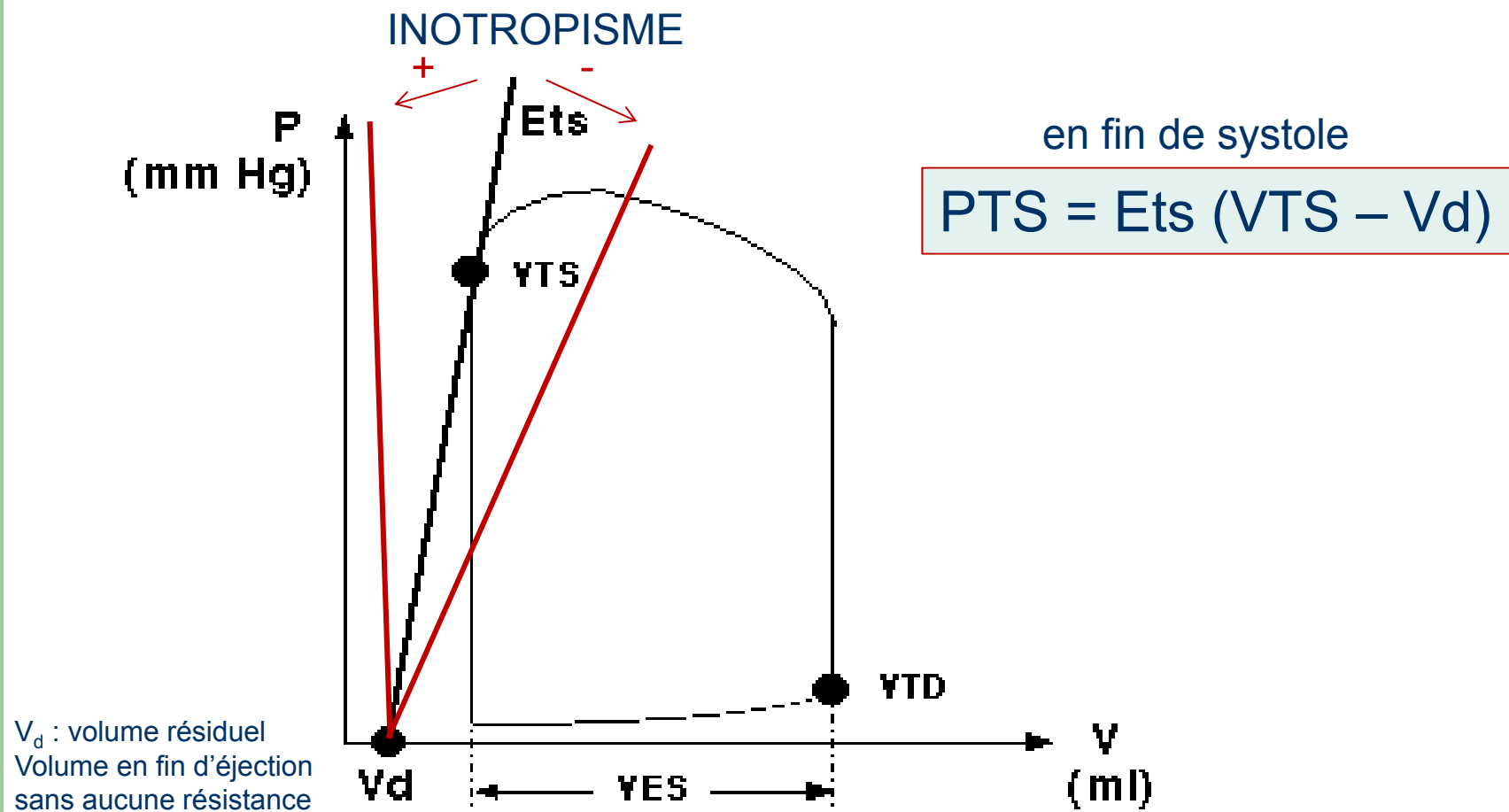
Une augmentation du volume télédiastolique du ventricule entraîne un étirement des myofibrilles, initialement. L'énergie devant être produite par le ventricule pour éjecter le sang augmentera alors.

Cette loi prédit donc l'augmentation progressive de la force de contraction lors de la systole, pendant que le remplissage ventriculaire s'opère.

Remarque :

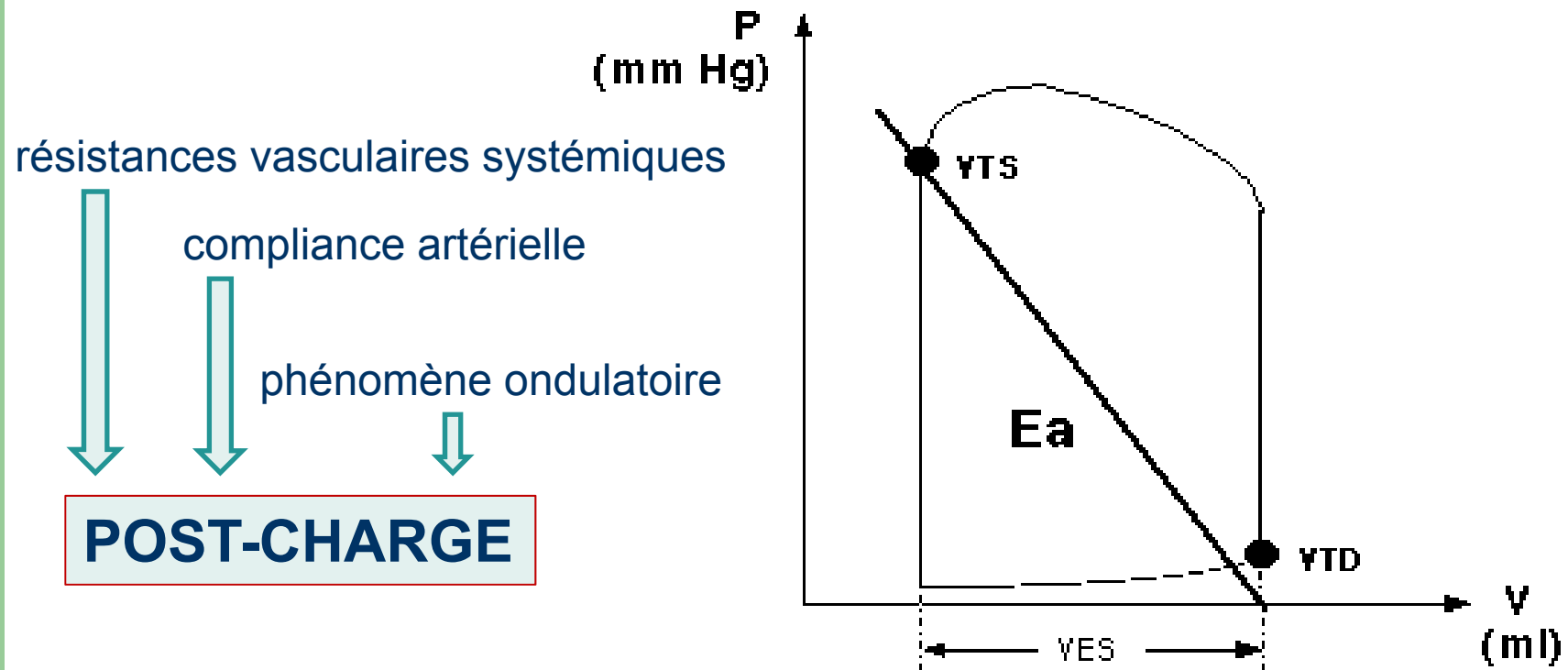
il existe donc une influence certaine de la pré-charge sur le travail biomécanique cardiaque.

Performance cardiaque (5) : élastance télésystolique



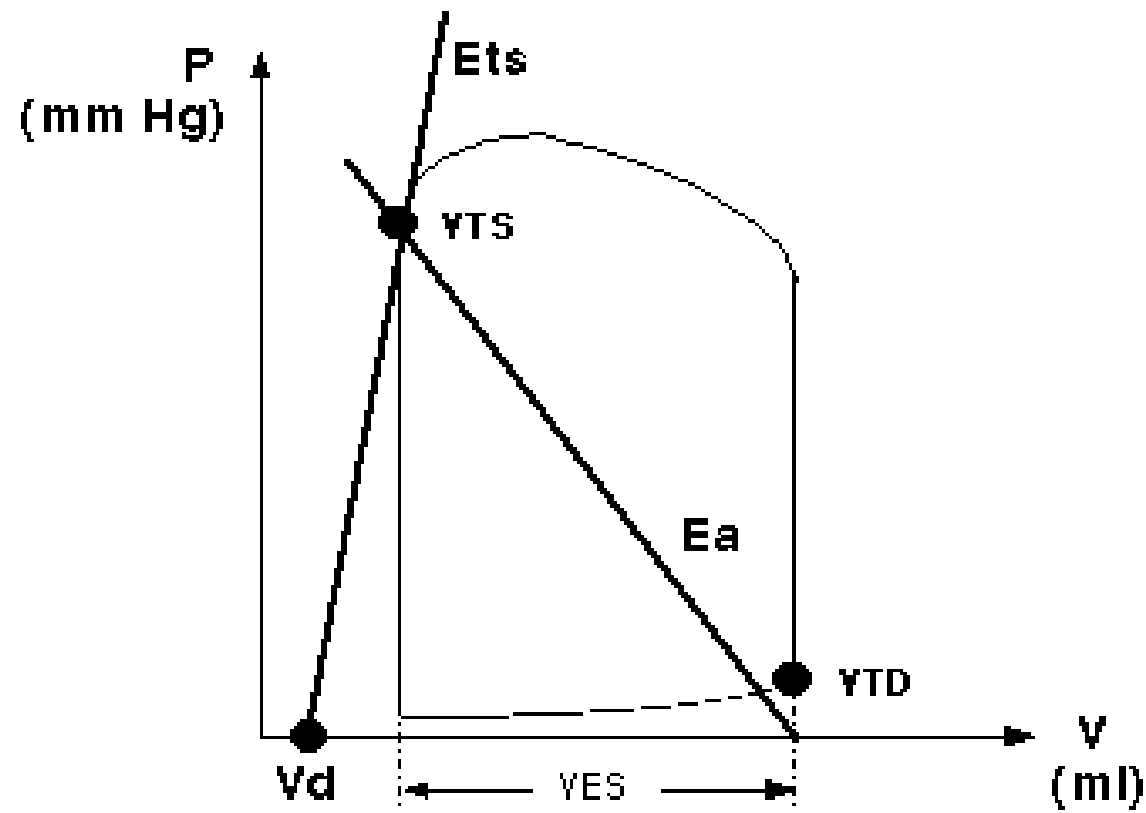
The graph illustrates the relationship between pressure (P) in mm Hg and volume (V) in ml. It shows a normal pressure-volume loop (black line) and a loop shifted to the left (red line), indicating increased contractility. The shift is labeled 'INOTROPISME' with a '+' sign. The area between the two loops is labeled 'Ets' (excess work). The volume difference between the end-diastolic points is labeled 'YES' (ventricular excess stroke). The end-diastolic point of the normal loop is labeled 'YTD' (ventricular tension deficit). The end-systolic point of the normal loop is labeled 'YTS' (ventricular tension surplus). The text 'Augmentation de la contractilité du myocarde' points to the red line, and 'Atteinte de la contractilité du myocarde : Insuffisance ventriculaire' points to the black line.

Performance cardiaque (8) : élastance artérielle

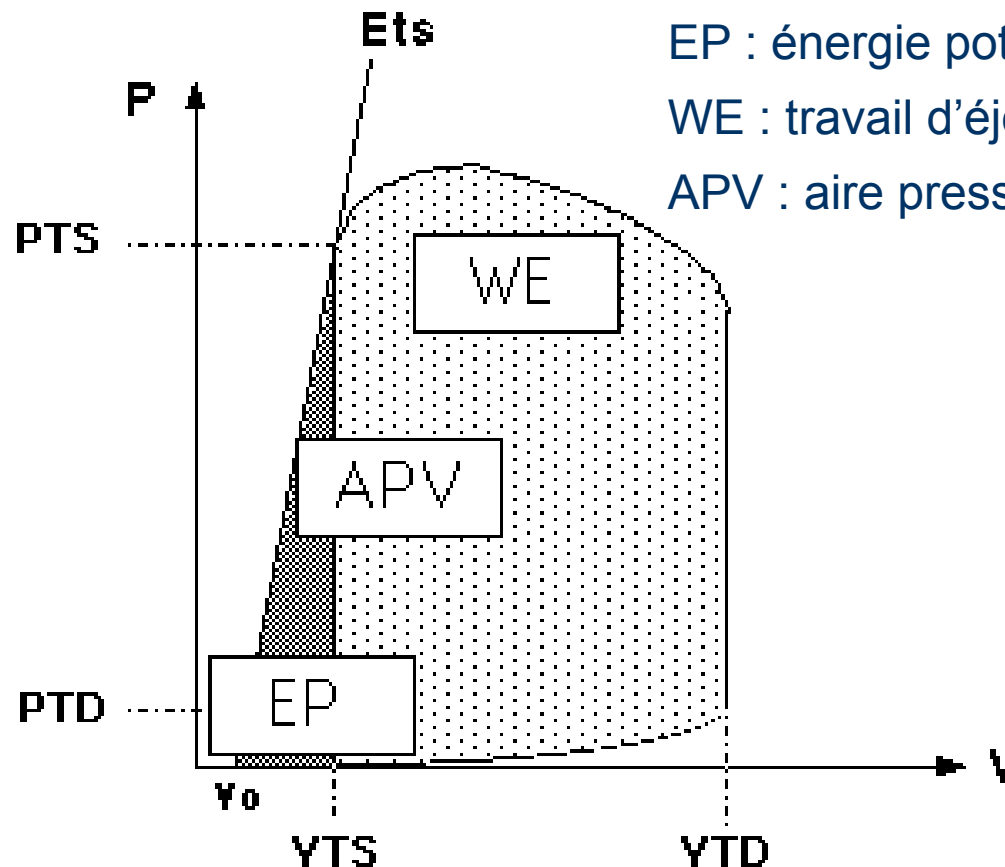


Mesure qui caractérise la bonne adéquation d'impédance du système artériel qui représente la charge hydraulique qui s'oppose à l'éjection du VG. C'est la meilleure définition de la post charge.

Performance cardiaque (11) : Ea et Ets sur la courbe PV



Considérations énergétiques : application -1



EP : énergie potentielle du VG en fin d'éjection

WE : travail d'éjection systolique

APV : aire pression-volume

$$APV = EP + WE$$

Conclusion

